Mathematical Model of Memory-Serial Position Curve descrided dy Generalized Random Walks

東北大・工　原　啓明

記憶には情報を受容する記銘，覚えた情報を維持する保持，貯蔵された記憶痕跡をよび出す検索の３段階の過程があるといわれている。ここでは情報の保持と云う面から記憶のモデル化を，拡張されたランダムウォーク（GRW）によって行う。

情報源としては生起確率 k_1，k_2，…… である情報の要素 I_1，I_2，…… から成るものと考える。情報源に接触する系（脳，計算機など）の接点は，〝よい符号化〟（大きな k_iを持つ要素 I_i は，短い長さ ℓ_i の符号に翻訳する）が行われるものとする。系に長さℓ_1(<)，ℓ_2(<)，…… の符号語がそれぞれ N_{I_1}個，N_{I_2}個，…… あたり，全部でM個（$=\sum_i N_{I_i}$）あったとしよう。そして N_{I_i}の組 $\{N_{I_i}\}$ が長さ Lの〝テープ〟によみとられたとすると，この系はM,L で特徴づけられた統計集団の１つとみなすことが出来る。〝情報平衡〟の状態にある正準集合では，Lは$\langle L\rangle$($=\sum_i \ell_i\, e^{-\beta\ell_i}/Z_M$，$Z_M=\sum_i e^{-\beta\ell_i}$）となり，系は$M$と$\Theta$($\Theta=(k_2\beta)^{-1}$，$k_2=\log 2$)で特徴づけられる。情報度$\Theta$は温度に相当する量で$\Theta\fallingdotseq 0$は，符号語は殆んど短い長さ$\ell_1$の情報の要素 I_1，有限のΘは ℓ_1(<)ℓ_2(<)……(<)ℓ_k までの長さを持ったk個の要素から成る情報源であることを意味する。

系はニューロンが複雑にからみ合った回路網とみなし，連続変数xで着目した１つのニューロンの膜電位の値を表わす簡単なモデル(I)の場合と，xが別の場所にあるニューロンの膜電位の座標を表わす非局在モデル(II)の２つの場合を考える。GRW[1]では,ウォーカーがNステップ後に位置mにくる確率W(m，N)は位置間（$m-\alpha\cdot 1\rightarrow m$）をとび移る確率 $\tilde{P}^{\alpha}_{N-1}(m\,|\,m-\alpha\cdot 1)$（$\alpha=\pm$，0）によって次の漸化式

$$W(m,N)=\sum_{\alpha}\tilde{P}^{\alpha}_{N-1}(m\,|\,m-a\cdot 1)W(m-a\cdot 1,N-1)\,. \tag{1}$$

で表わされる。連続体近似（$x=ma$，$t=Nt_0$，a^2/t_0＝一定で a，$t_0\rightarrow 0$)をとると(1)から Fokker Planck（FP）方程式が得られる[1] $\tilde{P}^{\alpha}_{N-1}$ はn個のシナプスの状態 α_i($i=1$，2……n,＋=興奮性，－=抑性，0＝発火しない）の組 $\{\alpha_i\}$ で決まる確率 $P^{\alpha_1\alpha_2\cdots\alpha_n}(t)$ を通じて決める（図１）。

即ち，連続体近似をとった後では，$\widetilde{P}^{\alpha}_{N}$ は次式で定義する。

$$\widetilde{P}^{\pm}(t)=\frac{1}{2}\left[<\alpha_i^2(t)>\pm<\alpha_i(t)>\right] \qquad (2)$$

ここで

$$<\alpha_i^k(t)>=\sum_{\{\alpha_i\}}\alpha_i^k P^{\alpha_1\alpha_2\cdots\alpha_n}(t) \qquad (3)$$

$<\alpha_i(t)>, <\alpha_i^2(t)>(\equiv 1-\widetilde{P}^0(\Theta))$は，それぞれ短期記憶（STM）と長期記憶（LTM）による部分を表わしている。$\{\alpha_i\}$ の相互作用は $\mathcal{H}=-\sum_i\mathcal{H}_i\,(\mathcal{H}_i=-J\sum_{<ij>}\alpha_i\alpha_j)$，又 $\{\alpha_i\}$の中で１個のシナプスが状態 α_i をとる確率は $\exp(-\beta\mathcal{H}_i)$ に比例するものとすると，Wの漸化式から得られたwのFP方程式は，十分大きな時間の後では$\partial w/\partial t=0$で決まる定常解を与え，xに関する２次のモーメントで定義した拡散係数 $D_{\mathrm{E}}(=a(1-\widetilde{P}^0(\Theta)/t_0)$ は，Einstein の関係式

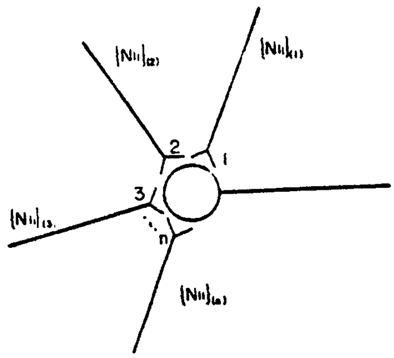
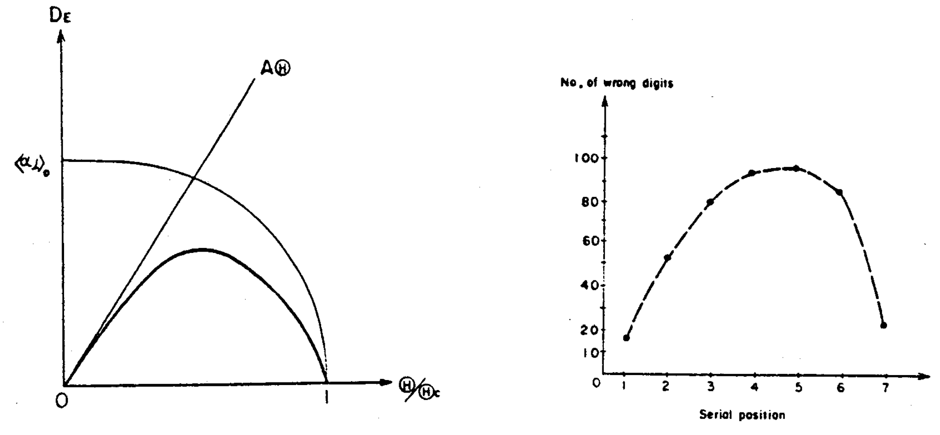


図 1.

$$D_{\mathrm{E}}=A\Theta<\alpha_i>, \qquad (A=ak_2/t_0) \qquad (4)$$

を満す。$<\alpha_i>(=<\alpha_i\,|\,t=\infty)>)$ は磁化曲線と同様，情報度Θの関数であること，情報の入力に対して応答可能な情報源の要素数に限界がある，即ちΘ_{c}が存在することに注意すると(4)から図２(a)が得られる。



(a) (b)

図 2.

D_{E}を記憶保持の減衰を示す尺度とみれば図 2(b)の系列位置（Serial Position（SP））効果を示すカーブ[2] を説明する数学的モデルが得られる事になる。SP 効果はネズミでも観測されている[3]。このモデルではマジカルナンバー〝7〞[4]はΘ_{c} に対応し α_i と α_j の結合定数で決ま

る（$\Theta_c = J/k_2$）。小さなΘではLTMによりエラーが大きくなり，$\Theta \to \Theta_c$ では各シナプスの機能が麻痺し，このため抑性がとれて想起しやすくなるSTMによりエラーが減少することを示している。図2(a)の様子は(I)(II)の両モデルに対しても得られるが，記憶のモデルとしては(II)の非局在モデルの方がより現実的であるように思われる[5)]。

最後に議論していただいた東北大学医学部脳研の綾皓二郎氏に感謝します。

文　献

1) H. Hara: 物性研究 **33** No. 5, (1980) E28, **35** No. 6, (1981) F5, **39** No. 3, (1982) C2, **40** No. 3, (1983) 137.

2) R. Conrad and A. J. Hull: Psychon. Sci. **10** (4) (1968) 135.

3) K. Kato: 修士論文

4) G. A. Miller: Psychol. Rev. **63** (1956) 81.

5) C. I. J. M. Stuart, Y. Takahashi and H. Umezawa: J. Theor. Biol. **71** (1978) 605.

Systematic Theory of Relaxation and Fluctuation of Macrovariables in a Stochastic Process

湘北短大・電子　落　合　　萌
東北大・工　山　崎　義　武

gain loss typeのマスター方程式から出発し, staggered sealing expansion method[1,2)]（時間・空間的サイズに段差をつけてスケーリング展開を行う方法）を導入することによって，Kramers Moyal 展開を経て，巨視的方程式およびそのまわりのゆらぎのモーメントを定める方程式が得られる議論[2)]を拡張し，さらにゆっくりしたモードを定める方程式が導出できることを報告する。

多体系には各種の運動モードがある。われわれが必要とするのは，系を現象論的あるいは巨視的に特徴づけるモードとそのゆらぎの様子であり，これらは，その中にすべての運動モードを含む微視的な基礎方程式を粗視化することによって得られる。ブラウン運動にみられるような確率過程にしたがう系でマルコフ性が仮定され，遷移確率がわかればマスター方程式が立てられ，問題はこれを解く方法に帰着する。厳密に解くことは数学的に興味はあっても，物理的